

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Flexible and stretchable semiconductor devices –
Part 5: Test method for thermal characteristics of flexible materials**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs souples et
extensibles –**

**Partie 5: Méthode d'essai pour les caractéristiques thermiques des matériaux
souples**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Flexible and stretchable semiconductor devices –
Part 5: Test method for thermal characteristics of flexible materials**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs souples et
extensibles –
Partie 5: Méthode d'essai pour les caractéristiques thermiques des matériaux
souples**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-6611-3

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Testing method.....	6
4.1 General.....	6
4.2 Test apparatus.....	7
4.3 Test procedures	13
4.3.1 General	13
4.3.2 Substrate specimen	13
4.3.3 Thin-film specimen	14
4.4 Report of results	14
Annex A (informative) Example of 3D design of thermoreflectance thermometry	15
Bibliography.....	16
Figure 1 – Thermoreflectance signals of substrate and thin-film materials as functions of temperature	7
Figure 2 – Reflectance vs. temperature of silicon thin-films (thicknesses of 1,62 µm, 1,64 µm, and 1,67 µm) for the wavelength of 633 nm.....	7
Figure 3 – Schematic of thermoreflectance thermometry with one laser source that is used for calibration	8
Figure 4 – Schematic of thermoreflectance thermometry with one laser source that is used for measurement	9
Figure 5 – Schematic of thermoreflectance thermometry with two lasers of different wavelengths used for calibration	10
Figure 6 – Schematic of thermoreflectance thermometry with two lasers of different wavelengths used for measurement	11
Figure 7 – Optical reflectance of a silicon thin-film (1,526 µm) at 532 nm and 633 nm as a function of temperature	12
Figure 8 – Reflectance ratio of a silicon thin-film as a function of temperature ($\lambda_1 = 633$ nm and $\lambda_2 = 532$ nm).....	12
Figure 9 – Suspended bending or uniaxial stretching of flexible or stretchable semiconductor materials	13
Figure A.1 – 3D design of dual wavelength thermoreflectance setup.....	15

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
FLEXIBLE AND STRETCHABLE SEMICONDUCTOR DEVICES –****Part 5: Test method for thermal characteristics of flexible materials****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62951-5 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
47/2534/FDIS	47/2543/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 62951 series, published under the general title *Semiconductor devices – Flexible and stretchable semiconductor devices*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62951-5:2019

SEMICONDUCTOR DEVICES – FLEXIBLE AND STRETCHABLE SEMICONDUCTOR DEVICES –

Part 5: Test method for thermal characteristics of flexible materials

1 Scope

This part of IEC 62951 specifies the test method for thermal characteristics of flexible materials. This document includes terms, definitions, symbols, and test methods that can be used to evaluate and determine thermal characteristics of flexible materials for practical use. The measurement method relies on non-contact optical thermometry that is based on temperature dependent optical reflectance. This document is applicable to both substrate and thin-film flexible semiconductor materials that are subjected to bending and stretching.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1 reflectance

ρ

ratio of the reflected optical power to the incident optical power at a given wavelength and temperature for a given surface of materials

Note 1 to entry: Reflectance can be defined as the ratio between reflected and incident radiant or luminous flux.

[SOURCE: IEC 60050-845:1987, 845-04-58, modified – temperature dependence of optical reflectance is added.]

3.2 thermoreflectance

temperature dependent optical reflectance of a given surface of materials

Note 1 to entry: Thermoreflectance has nothing to do with thermal reflectance.

3.3 local temperature

T_{loc}

temperature at a local position in a spatially distributed device or system

3.4 average temperature

T_{avg}
temperature within a substrate averaged over an area of interest at a given time

$$T_{\text{avg}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{loc}}(i) \quad (1)$$

where

n is the total number of measurement point

$T_{\text{loc}}(i)$ is the local temperature at the i^{th} measurement point

3.5 initial temperature

T_i
local or average temperatures when the sample is about to be powered on ($t = 0$)

3.6 final temperature

T_f
local or average temperatures when the sample is about to be powered off ($t = t_f$)

3.7 thermal time constant

τ
time taken to reach 63,2 % of the difference between the initial and the final temperatures

3.8 substrate

materials that are more than 20 times thick of the wavelength of the probing laser

Note 1 to entry: For 633 nm, the thickness criterion to determine the substrate materials is larger than approximately 12,7 μm .

3.9 thin-film

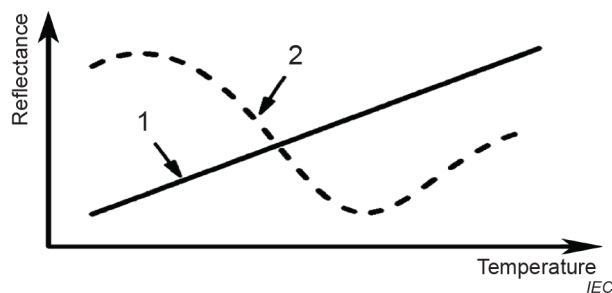
materials that are less than 20 times thick of the wavelength of the probing laser

Note 1 to entry: For 633 nm, the thickness criterion to determine the thin-film materials is less than approximately 12,7 μm .

4 Testing method

4.1 General

Thermoreflectance is one of non-contact optical thermal characterization techniques that relies on the change of refractive index of materials as a function of temperature. Depending on their thickness, flexible semiconductor materials can be categorized as either substrate or thin-film. For substrate materials, their optical reflectance values change linearly with temperature. However, optical reflectance values of thin-film materials show highly non-linear behaviours as shown in Figure 1. For thin-films, non-linear optical reflectance is also strongly dependent on the sample thickness as shown in Figure 2. Such a non-linearity requires reflectance measurements at multiple wavelengths. Once optical reflectance values at one or more wavelengths are calibrated at various temperatures, thermal characterization is enabled.

**Key**

- 1 Substrate
- 2 Thin-film

Figure 1 – Thermoreflectance signals of substrate and thin-film materials as functions of temperature

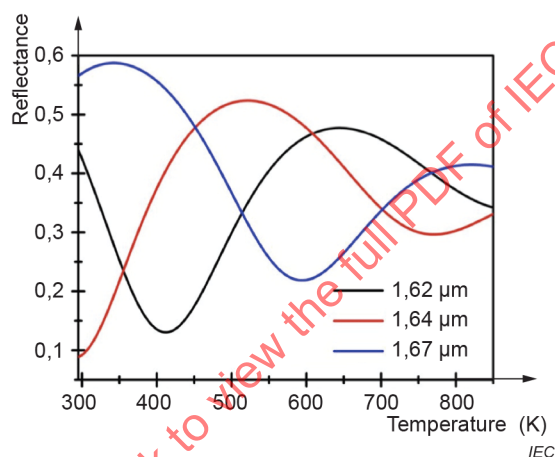
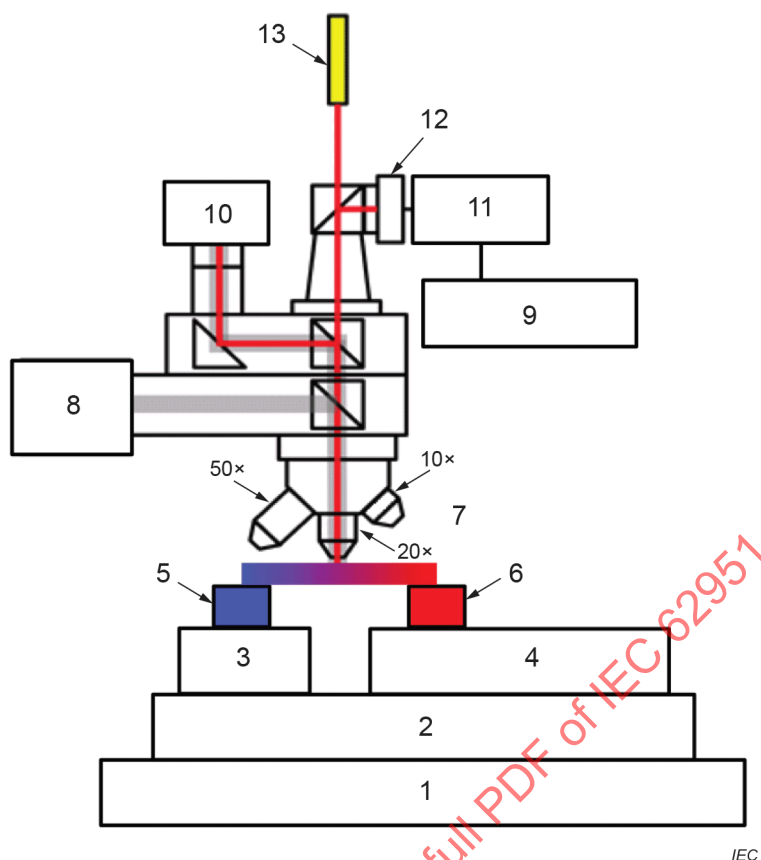


Figure 2 – Reflectance vs. temperature of silicon thin-films (thicknesses of 1,62 μm , 1,64 μm , and 1,67 μm) for the wavelength of 633 nm

4.2 Test apparatus

In case of substrate materials, thermoreflectance signals at a given wavelength tend to change linearly with increasing temperature. Thin-film materials, however, exhibit highly non-linear thermoreflectance behaviours as temperature increases. Therefore, single wavelength optical probing is necessary and sufficient for substrate flexible semiconductor materials and at least dual wavelength probing is required for thin-film materials. Thermoreflectance ratio at different wavelengths is still non-linear with temperature but can provide an acceptable match with the theoretical estimation and more precise temperature measurements. Figure 3 and Figure 4 show schematics of thermoreflectance thermometry with one laser source used for calibration and measurement (for example, wavelength, $\lambda = 633 \text{ nm}$ herein but other wavelength can be used), respectively. For calibration, heating or cooling blocks with fixed temperature are used. The substrate is joule heated with DC or AC (simple periodic sine) power supplies for actual measurements.

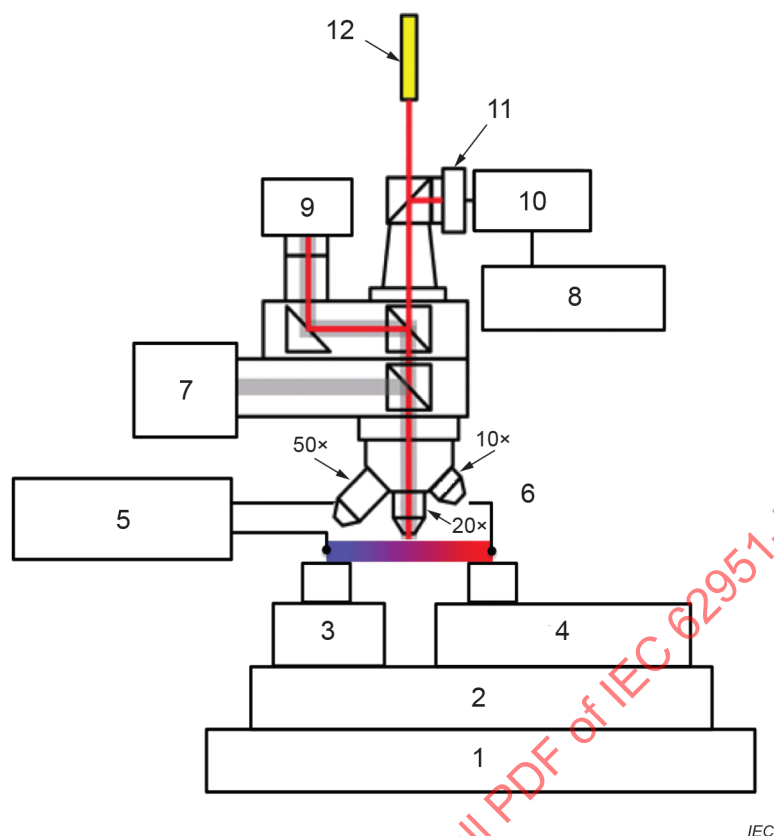


Key

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1 Goniometer | 2 Motorized xy stages |
| 3 Fixed stage | 4 Motorized linear stage |
| 5 Cold temperature block | 6 Hot temperature block |
| 7 Objective lens | 8 Halogen lamp |
| 9 Multimeter | 10 CCD |
| 11 Variable terminal | 12 Silicon detector |
| 13 Laser | |

NOTE The wavelength of the laser, λ , is 633 nm for this example but other wavelength can be used.

Figure 3 – Schematic of thermoreflectance thermometry with one laser source that is used for calibration

**Key**

- | | | | |
|----|-----------------------|----|------------------------|
| 1 | Goniometer | 2 | Motorized xy stages |
| 3 | Fixed stage | 4 | Motorized linear stage |
| 5 | DC or AC power supply | 6 | Objective lens |
| 7 | Halogen lamp | 8 | Multimeter |
| 9 | CCD | 10 | Variable terminal |
| 11 | Silicon detector | 12 | Laser |

NOTE The wavelength of the laser, λ , is 633 nm for this example but other wavelength can be used.

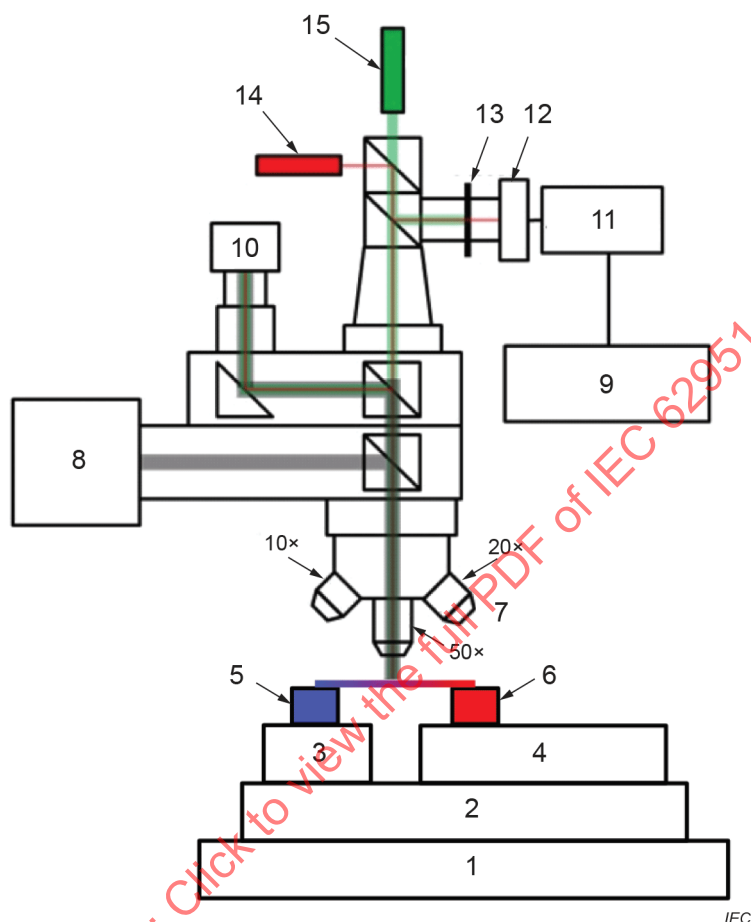
Figure 4 – Schematic of thermoreflectance thermometry with one laser source that is used for measurement

Figure 5 and Figure 6 show schematics of thermoreflectance thermometry with two lasers of different wavelengths that are well suited for thin-film materials but can be generally applicable to substrate materials. Three dimensional design of the dual wavelength thermoreflectance setup is also shown in Annex A. For calibration, heating or cooling blocks with fixed temperature are used. The substrate is joule heated with DC or AC (simple periodic sine) power supplies for actual measurements.

For tight focusing (or smaller focal spots), lasers in setups shown in Figures 3, 4, 5 and 6 are expanded by a beam expander and focused onto a sample under test using a microscope objective lens attached to a turret. The focal spot (d_0) is determined by

$$d_0 = \frac{2f\lambda}{D} \quad (2)$$

where, f is the focal length of the lens, D is the beam diameter at the lens entrance, and λ is the wavelength. Typically, 5x expansion is sufficient. The reflected light travels backwards and is guided towards a silicon photodetector. The photocurrent generated in the silicon detector is converted into a voltage via a variable terminal or a transimpedance amplifier and measured with a digital multimeter or a lock-in amplifier.

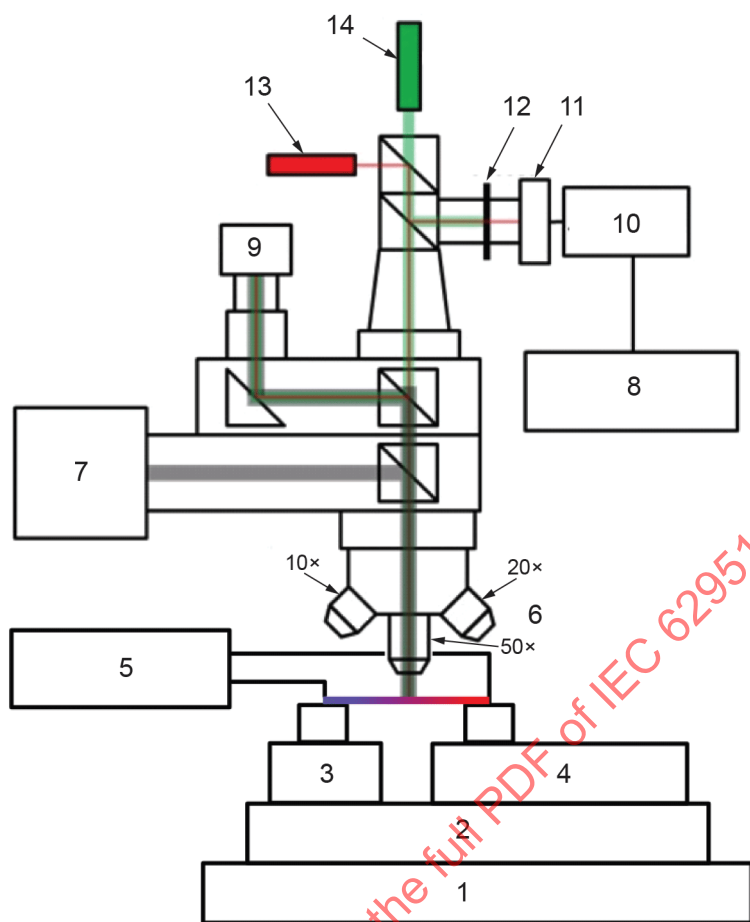


Key

- | | | | |
|----|-------------------------|----|------------------------|
| 1 | Goniometer | 2 | Motorized xy stages |
| 3 | Fixed stage | 4 | Motorized linear stage |
| 5 | Cold temperature block | 6 | Hot temperature block |
| 7 | Objective lens | 8 | Halogen lamp |
| 9 | Multimeter | 10 | CCD |
| 11 | Variable terminal | 12 | Silicon detector |
| 13 | Low or high pass filter | 14 | Laser 1 |
| 15 | Laser 2 | | |

NOTE The wavelengths of the laser 1 and laser 2, λ_1 and λ_2 , are 633 nm and 532 nm for this example but other wavelengths can be used.

Figure 5 – Schematic of thermoreflectance thermometry with two lasers of different wavelengths used for calibration



IEC

Key

- | | | | |
|----|-----------------------|----|-------------------------|
| 1 | Goniometer | 2 | Motorized xy stages |
| 3 | Fixed stage | 4 | Motorized linear stage |
| 5 | DC or AC power supply | 6 | Objective lens |
| 7 | Halogen lamp | 8 | Multimeter |
| 9 | CCD | 10 | Variable terminal |
| 11 | Silicon detector | 12 | Low or high pass filter |
| 13 | Laser 1 | 14 | Laser 2 |

NOTE The wavelengths of the laser 1 and laser 2, λ_1 and λ_2 , are 633 nm and 532 nm for this example but other wavelengths can be used.

Figure 6 – Schematic of thermoreflectance thermometry with two lasers of different wavelengths used for measurement

A sample specimen is mounted between two blocks with constant temperature which are located on a fixed jig and a motorized linear stage, respectively. In general, the temperature blocks are running during calibration (reflectance vs. temperature at a given wavelength). Figure 7 shows typical results with a silicon thin-film during calibration where wavelength dependent non-linear behaviours can be seen. By taking the reflectance ratio as shown in Figure 8, a calibration curve for a thin-film can be obtained. The thickness of each thin-film sample is not necessarily measured.

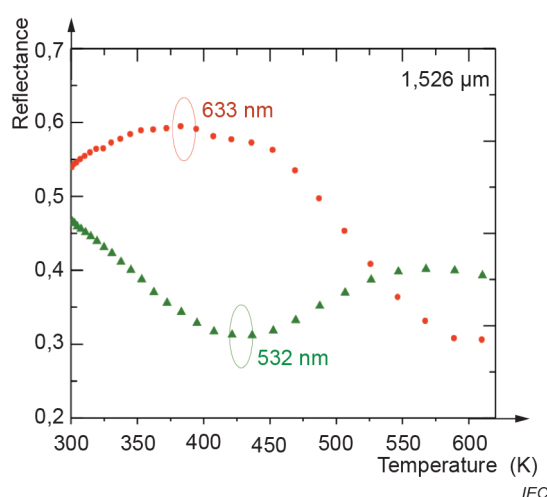


Figure 7 – Optical reflectance of a silicon thin-film (1,526 μm) at 532 nm and 633 nm as a function of temperature

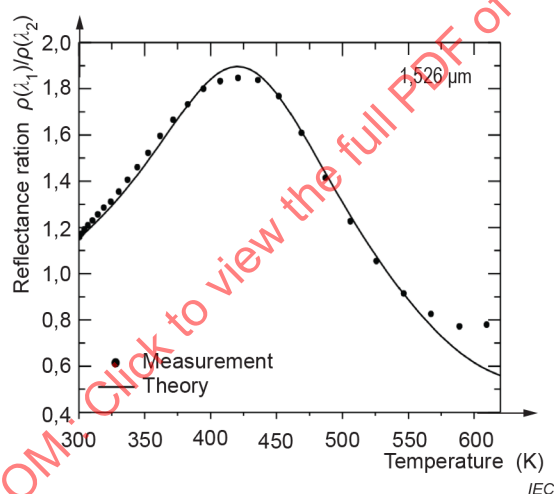


Figure 8 – Reflectance ratio of a silicon thin-film as a function of temperature ($\lambda_1 = 633$ nm and $\lambda_2 = 532$ nm)

For actual measurements, the sample specimen is joule-heated by using either DC or AC (simple periodic sine) powers in general. For highly resistive samples, heating methods other than joule heating shall be used. As shown in Figure 9, the single-axis motorized stage enables either bending or stretching for flexible or stretchable semiconductor materials, the dual-axis (xy) motorized stages are used for sample scanning for obtaining an average temperature, and the goniometer rotates the sample to maintain normal incidence of the probing laser.

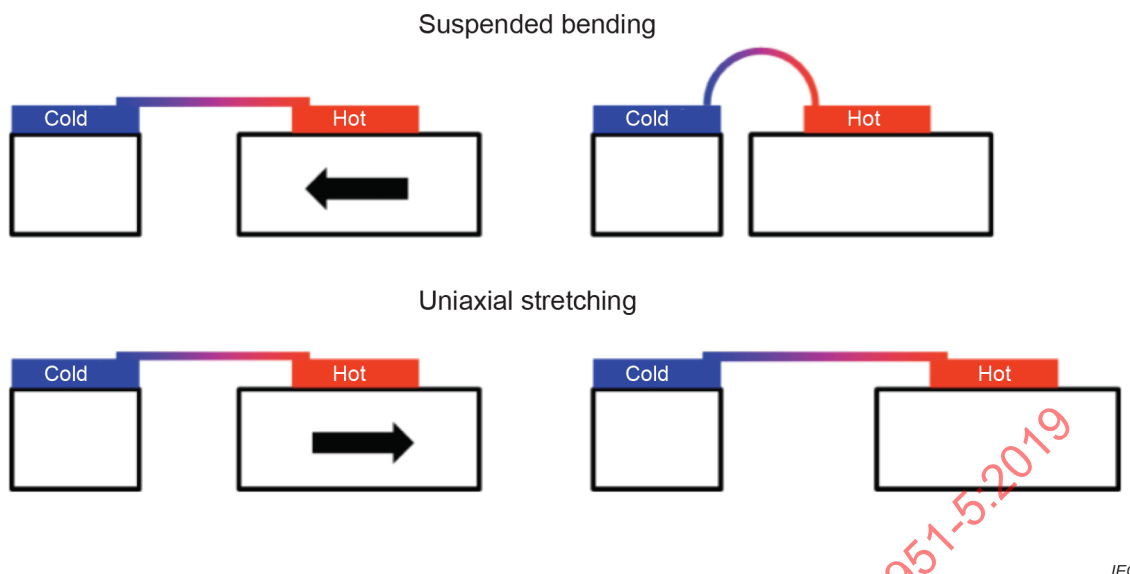


Figure 9 – Suspended bending or uniaxial stretching of flexible or stretchable semiconductor materials

4.3 Test procedures

4.3.1 General

The test procedure is as follows:

Determine whether the specimen is substrate or thin-film by measuring reflectance as a function of temperature varying within a range of user's interest using the setup shown in Figure 3. The specimen is mounted on two temperature blocks. To minimize the interface thermal resistance, a thermal paste is gently and uniformly applied to the contact area. If the result is linear, the specimen can be regarded as a substrate. If not, it shall be treated as a thin-film.

4.3.2 Substrate specimen

The test procedure for substrate specimen is as follows.

- Use the result obtained during the determination of substrate or thin-film specimen as a calibration plot.
- Configure the substrate specimen as shown in Figure 4. The thermal paste is gently and uniformly applied to contact areas.
- Deform the specimen to result in a finite bending or stretching. Then, power up the sample specimen with a DC supply and wait a while for the specimen to reach a steady-state temperature.
- Obtain local temperatures by measuring optical reflectance at discrete points of interest and using the calibration plot. Use the goniometer to maintain the normal incidence of the probing laser.
- Obtain an average temperature by measuring optical reflectance within an area of interest, obtaining local temperatures with the aid of calibration plot, and calculating the mean value. Use the goniometer to maintain the normal incidence of the probing laser.
- Power up the sample specimen with an AC supply (simple periodic sine). Make sure that the digital multimeter connected to the silicon detector through the variable terminal is synchronized with the AC supply.

- g) Take reflectance measurements with a time interval (Δt) that is typically equal to or shorter than 1/500 of the pulse duration. Draw a reflectance vs. time plot and convert it to a temperature vs. time plot. To obtain the thermal time constant τ , fit the temperature vs. time plot with

$$T(t) = T_f + (T_i - T_f)e^{(-t/\tau)} \quad (3)$$

where T_i and T_f are initial and final temperatures, respectively.

- h) Unload the sample after any deformation is removed.

4.3.3 Thin-film specimen

The test procedure for thin-film specimen is as follows.

- a) Measure reflectance at the midpoint of the suspended sample specimen as a function of temperature varying within a range of user's interest at two wavelengths (λ_1 and λ_2) using the setup shown in Figure 5. The local temperature at the midpoint is the average of the hot and cold temperature blocks. Draw the calibration plot that is the reflectance ratio ($\rho_{\lambda,1} / \rho_{\lambda,2}$) vs. temperature graph.
- b) Configure the thin-film specimen as shown in Figure 6. The thermal paste is gently and uniformly applied to contact areas.
- c) Deform the specimen to result in a finite bending or stretching. Then, power up the sample specimen with a DC supply and wait a while for the specimen to reach a steady-state temperature.
- d) Obtain local temperatures by measuring the reflectance ratio at discrete points of interest and using the calibration plot. Use the goniometer to maintain the normal incidence of the probing laser.
- e) Obtain an average temperature by measuring the reflectance ratio within an area of interest, obtaining local temperatures with the aid of calibration plot, and calculating the mean value. Use the goniometer to maintain the normal incidence of the probing laser.
- f) Power up the sample specimen with an AC supply (simple periodic sine). Make sure that the digital multimeter connected to the silicon detector through the variable terminal is synchronized with the AC supply.
- g) Take reflectance measurements at two wavelengths with a time interval (Δt) that is typically equal to or shorter than 1/500 of the pulse duration. Obtain the reflectance ratio vs. time plot and convert it to the temperature vs. time plot. To obtain the thermal time constant τ , fit the temperature vs. time plot with Formula (3).
- h) Unload the sample after any deformation is removed.

4.4 Report of results

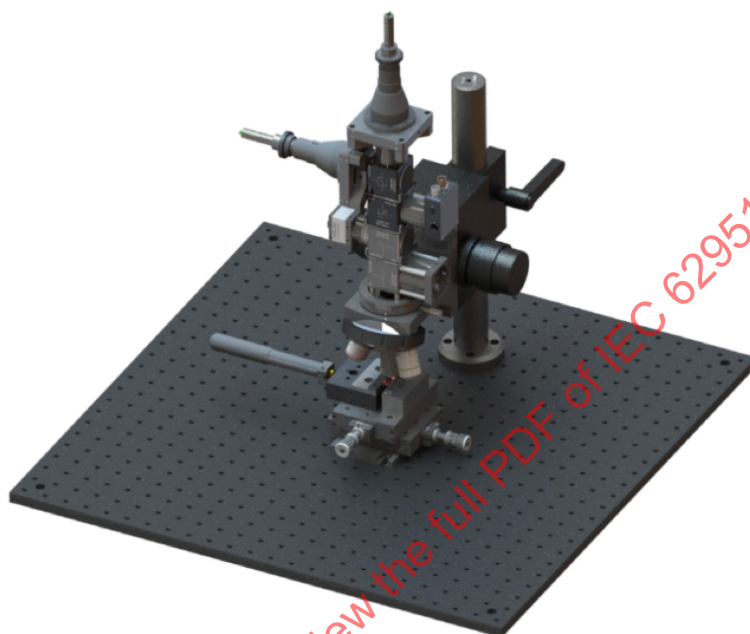
The report shall include the following items:

- a) specimen identification;
- b) date of test;
- c) atmospheric conditions of test;
- d) sample dimension;
- e) bending radius or stretching length;
- f) local temperature with coordinate;
- g) average temperature with area;
- h) time constant.

Annex A (informative)

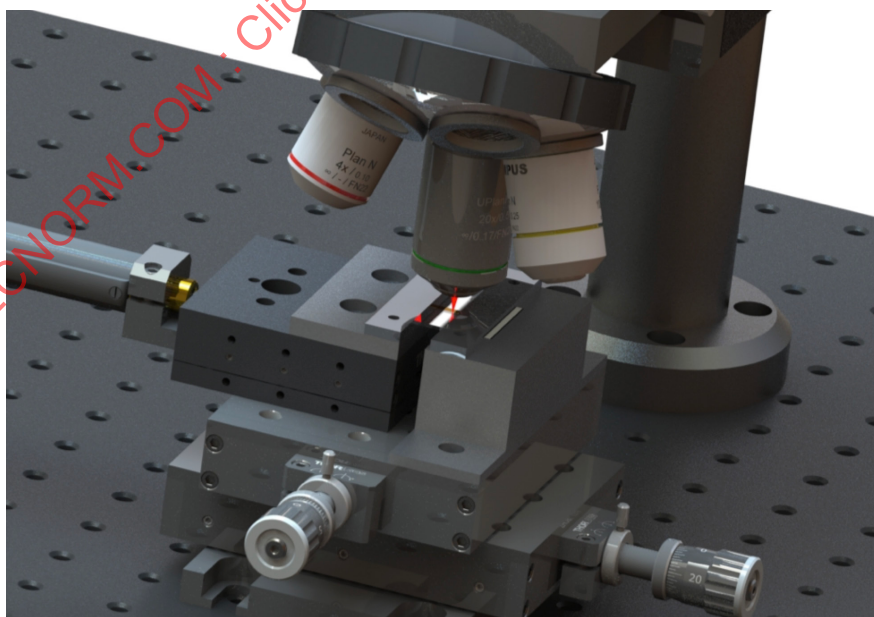
Example of 3D design of thermoreflectance thermometry

Figure A.1 shows a three-dimensional design of dual wavelength thermoreflectance thermometry composed of two lasers with different wavelengths that is well suited for thin-film samples.



IEC

a) Dual wavelength setup



IEC

b) Zoomed-in view

Figure A.1 – 3D design of dual wavelength thermoreflectance setup

Bibliography

J. Kim, S. Han, T. Walsh, K. Park, B. Lee, W.P. King, and J. Lee, Temperature measurements of heated microcantilevers using scanning thermoreflectance microscopy, *Review of Scientific Instruments*, 84, 034903 (2013)

H. Park, B. Lee, and J. Lee, Simultaneous determination of local temperature and thickness of heated cantilevers using two-wavelength thermoreflectance, *Review of Scientific Instruments*, 85, 036109 (2014)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62951-5:2019

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62951-5:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
1 Domaine d'application	21
2 Références normatives	21
3 Termes et définitions	21
4 Méthode d'essai	22
4.1 Généralités	22
4.2 Appareillage d'essai.....	23
4.3 Procédures d'essai	29
4.3.1 Généralités	29
4.3.2 Eprouvette en substrat.....	29
4.3.3 Eprouvette en couche mince.....	30
4.4 Consignation des résultats dans un rapport	31
Annexe A (informative) Exemple de modélisation 3D de la thermométrie par thermoréfectance	32
Bibliographie.....	33
Figure 1 – Evolution de la thermoréfectance des matériaux en substrat et en couche mince en fonction de la température	23
Figure 2 – Facteur de réflexion des matériaux en couche mince de silicium (épaisseurs de 1,62 μm , 1,64 μm et 1,67 μm) à la longueur d'onde de 633 nm, en fonction de la température	23
Figure 3 – Représentation schématique de la thermométrie par thermoréfectance exploitant une seule source laser pour l'étalonnage	24
Figure 4 – Représentation schématique de la thermométrie par thermoréfectance exploitant une seule source laser pour la mesure.....	25
Figure 5 – Représentation schématique de la thermométrie par thermoréfectance exploitant deux lasers de longueurs d'onde différentes pour l'étalonnage	26
Figure 6 – Représentation schématique de la thermométrie par thermoréfectance exploitant deux lasers de longueurs d'onde différentes pour la mesure	27
Figure 7 – Facteur de réflexion optique du silicium en couche mince (1,526 μm) à une longueur d'onde de 532 nm et 633 nm, en fonction de la température.....	28
Figure 8 – Rapport de réflectance du silicium en couche mince en fonction de la température ($\lambda_1 = 633 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 532 \text{ nm}$).....	28
Figure 9 – Contrainte de courbure par suspension ou d'étirement uniaxial exercée sur les matériaux semiconducteurs souples ou étirables	29
Figure A.1 – Modélisation 3D de la configuration à deux longueurs d'onde pour la thermoréfectance	32

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –
DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS SOUPLES ET EXTENSIBLES –****Partie 5: Méthode d'essai pour les caractéristiques
thermiques des matériaux souples**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62951-5 a été établie par le comité d'études 47: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47/2534/FDIS	47/2543/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette Norme internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62951, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs souples et extensibles*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62951-5:2019

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS SOUPLES ET EXTENSIBLES –

Partie 5: Méthode d'essai pour les caractéristiques thermiques des matériaux souples

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62951 spécifie la méthode d'essai pour les caractéristiques thermiques des matériaux souples. Le présent document inclut les termes, définitions, symboles et méthodes d'essai pouvant être utilisés pour évaluer et déterminer les caractéristiques thermiques des matériaux souples, dans le contexte d'une utilisation pratique. La méthode de mesure s'appuie sur la thermométrie optique sans contact, qui est elle-même basée sur le facteur de réflexion optique, qui dépend de la température. Le présent document s'applique aux semiconducteurs souples en substrat et en couche mince, qui sont soumis à des contraintes de courbure et d'étirement.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

facteur de réflexion

ρ

rapport de la puissance optique réfléchie à la puissance optique incidente, à une longueur d'onde et une température données et pour une surface de matériau donnée

Note 1 à l'article: Le facteur de réflexion peut être défini comme le rapport du flux énergétique ou lumineux réfléchi au flux incident.

[SOURCE: IEC 60050-845:1987, 845-04-58, modifié – Ajout de la dépendance thermique du facteur de réflexion optique]

3.2

thermoréfectance

facteur de réflexion optique d'une surface de matériau donnée, dépendant de la température

Note 1 à l'article: La thermoréfectance n'a rien à voir avec le facteur de réflexion thermique.

3.3

température locale

T_{loc}

température à une position locale, dans un dispositif ou un système réparti dans l'espace

3.4 température moyenne

T_{avg}
température au sein d'un substrat, moyennée sur une zone d'intérêt à un instant donné

$$T_{\text{avg}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{loc}}(i) \quad (1)$$

où

n désigne le nombre total de points de mesure

$T_{\text{loc}}(i)$ désigne la température locale au point de mesure i^{th}

3.5 température initiale

T_i
température locale ou moyenne constatée lorsque l'échantillon est sur le point d'être allumé
($t = 0$)

3.6 température finale

T_f
température locale ou moyenne constatée lorsque l'échantillon est sur le point d'être éteint
($t = t_f$)

3.7 constante de temps thermique

τ
temps nécessaire pour atteindre 63,2 % de l'écart entre la température initiale et la température finale

3.8 substrat

matériau dont l'épaisseur est plus de 20 fois supérieure à la longueur d'onde du laser de sonde

Note 1 à l'article: Pour une longueur d'onde de 633 nm, le critère d'épaisseur permettant de déterminer un matériau comme étant en substrat va être supérieur à environ 12,7 μm .

3.9 couche mince

matériau dont l'épaisseur est moins de 20 fois supérieure à la longueur d'onde du laser de sonde

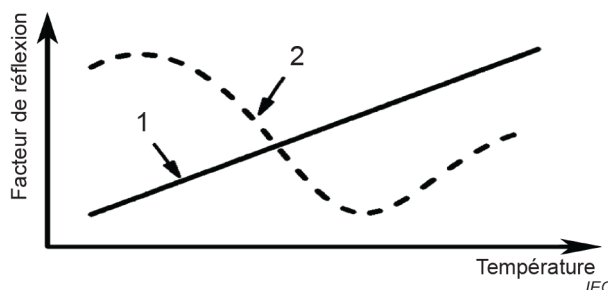
Note 1 à l'article: Pour une longueur d'onde de 633 nm, le critère d'épaisseur permettant de déterminer un matériau comme étant en couche mince va être inférieur à environ 12,7 μm .

4 Méthode d'essai

4.1 Généralités

La thermoréflectance est l'une des techniques de caractérisation thermique optique sans contact qui s'appuie sur la variation de l'indice de réfraction des matériaux en fonction de la température. Selon leur épaisseur, les matériaux des semiconducteurs souples peuvent être classifiés comme étant en substrat ou en couche mince. Pour les matériaux en substrat, le facteur de réflexion optique évolue de manière linéaire avec la température. En revanche, les valeurs du facteur de réflexion optique des matériaux en couche mince présentent des comportements fortement non linéaires, comme représenté à la Figure 1. Pour les matériaux

en couche mince, la non-linéarité du facteur de réflexion optique dépend également étroitement de l'épaisseur de l'échantillon, comme représenté à la Figure 2. Une telle non-linéarité exige des mesures du facteur de réflexion à différentes longueurs d'onde. Une fois que les valeurs du facteur de réflexion optique, à une ou plusieurs longueurs d'onde, ont été étalonnées à différentes températures, la caractérisation thermique est possible.



Légende

- 1 Matériau en substrat
- 2 Matériau en couche mince

Figure 1 – Evolution de la thermoréflexance des matériaux en substrat et en couche mince en fonction de la température

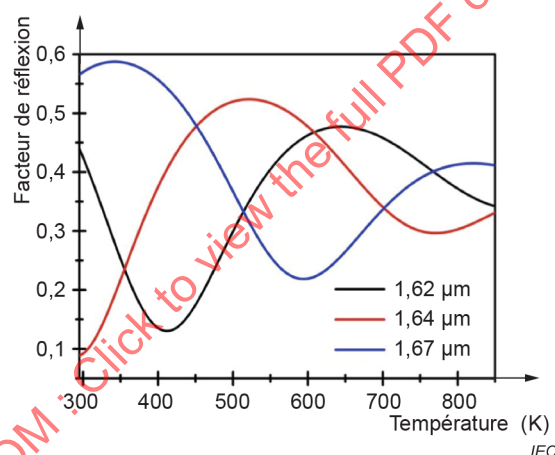
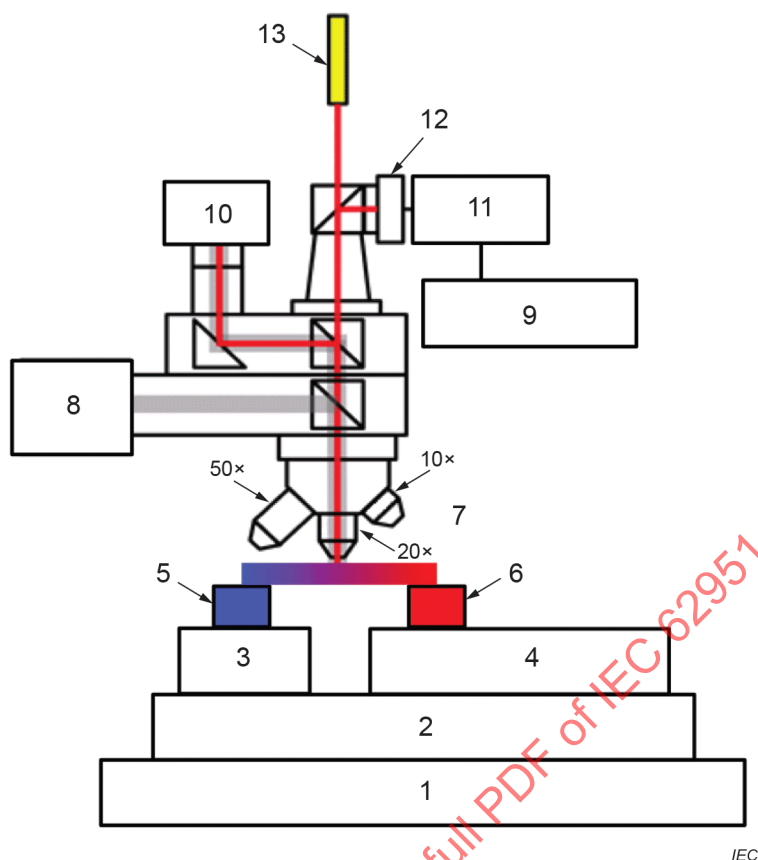


Figure 2 – Facteur de réflexion des matériaux en couche mince de silicium (épaisseurs de 1,62 µm, 1,64 µm et 1,67 µm) à la longueur d'onde de 633 nm, en fonction de la température

4.2 Appareillage d'essai

Dans le cas des matériaux en substrat, la thermoréflexance à une longueur d'onde donnée a tendance à évoluer de manière linéaire à mesure que la température augmente. En revanche, les matériaux en couche mince présentent des comportements de thermoréflexance fortement non linéaires à mesure que la température augmente. Par conséquent, un sondage optique à une seule longueur d'onde est nécessaire et suffisant pour les matériaux de semiconducteurs souples en substrat, alors qu'un sondage à au moins deux longueurs d'onde est exigé pour les matériaux en couche mince. Le rapport de thermoréflexance à différentes longueurs d'onde reste non linéaire à mesure que la température augmente, mais il peut fournir une correspondance acceptable avec l'estimation théorique et des mesures de température plus précises. La Figure 3 et la Figure 4 donnent des représentations schématiques de la thermométrie par thermoréflexance exploitant une seule source laser tant pour l'étalonnage que la mesure (à une longueur d'onde $\lambda = 633$ nm dans cet exemple, mais d'autres longueurs d'onde peuvent être utilisées). Pour l'étalonnage, des blocs chauffants ou des blocs refroidissants de température constante sont utilisés. Le substrat est chauffé par effet Joule via une alimentation en courant électrique continu ou alternatif (signal sinusoïdal périodique simple) pour les mesures réelles.

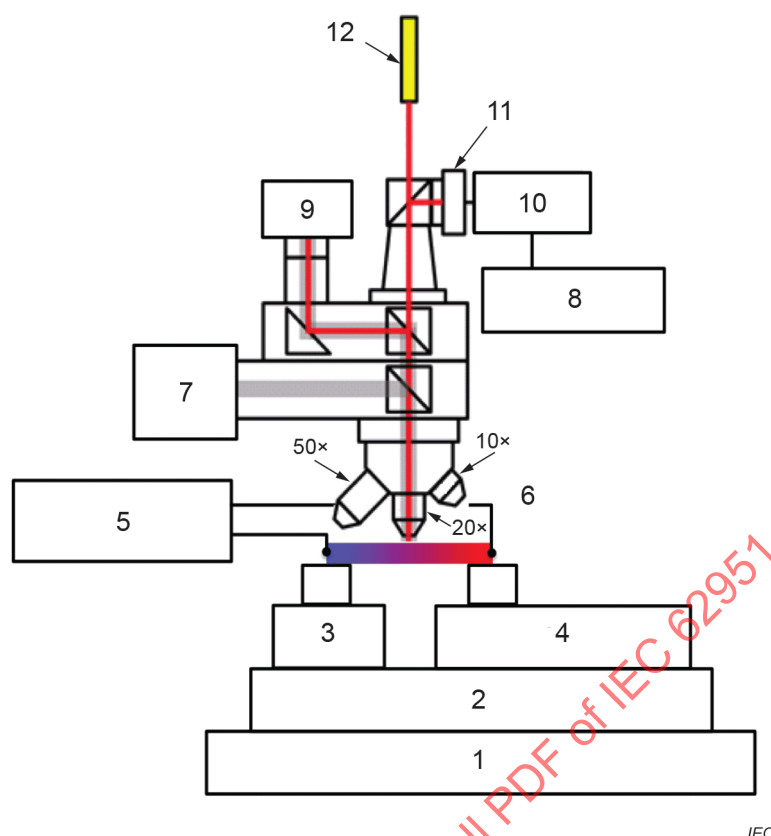


Légende

- | | |
|--------------------------|--|
| 1 Goniomètre | 2 Axes xy motorisés |
| 3 Axe fixe | 4 Axe linéaire motorisé |
| 5 Bloc refroidissant | 6 Bloc chauffant |
| 7 Lentille de l'objectif | 8 Lampe halogène |
| 9 Multimètre | 10 Dispositif à transfert de charge (CCD, Charge-Coupled Charge-Coupled Device) Device |
| 11 Borne variable | 12 Détecteur au silicium |
| 13 Laser | |

NOTE Pour cet exemple, la longueur d'onde du laser, λ , est de 633 nm. D'autres longueurs d'onde peuvent cependant être utilisées.

Figure 3 – Représentation schématique de la thermométrie par thermoréfectance exploitant une seule source laser pour l'étalonnage



IEC

Légende

- | | |
|---|--------------------------|
| 1 Goniomètre | 2 Axes xy motorisés |
| 3 Axe fixe | 4 Axe linéaire motorisé |
| 5 Alimentation en courant continu ou alternatif | 6 Lentille de l'objectif |
| 7 Lampe halogène | 8 Multimètre |
| 9 CCD | 10 Borne variable |
| 11 Détecteur au silicium | 12 Laser |

NOTE Pour cet exemple, la longueur d'onde du laser, λ , est de 633 nm. D'autres longueurs d'onde peuvent cependant être utilisées.

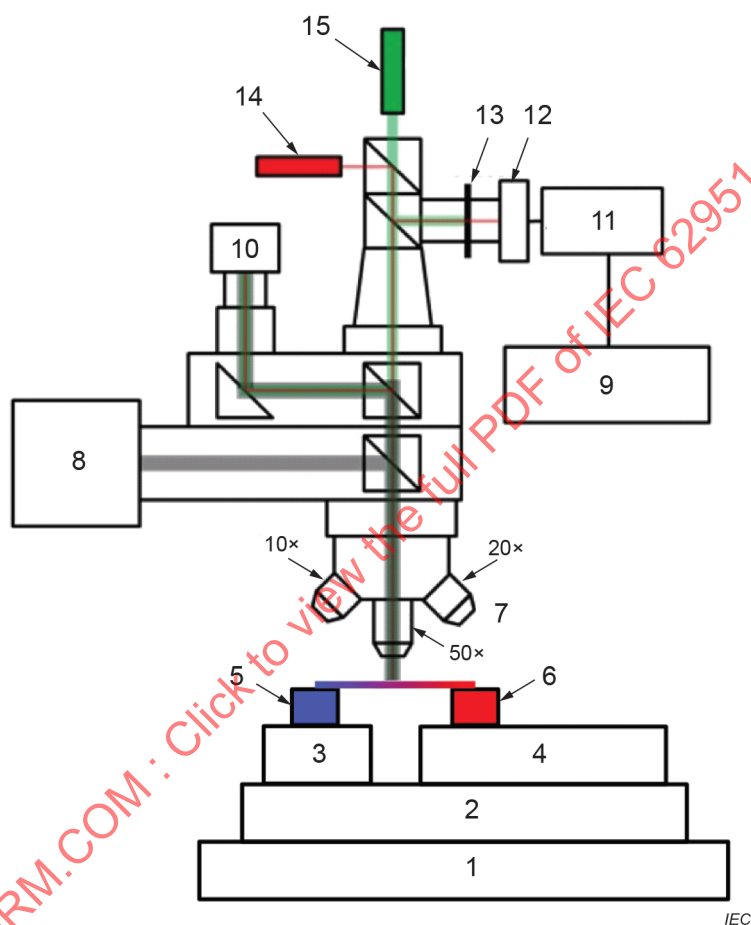
Figure 4 – Représentation schématique de la thermométrie par thermoréfectance exploitant une seule source laser pour la mesure

La Figure 5 et la Figure 6 donnent des représentations schématiques de la thermométrie par thermoréfectance exploitant deux lasers, de longueur d'onde différente, qui sont appropriés pour les matériaux en couche mince mais qui peuvent aussi généralement s'appliquer aux matériaux en substrat. Une modélisation 3D de la configuration à deux longueurs d'onde pour la thermoréfectance est également présentée à l'Annexe A. Pour l'étalonnage, des blocs chauffants ou des blocs refroidissants de température constante sont utilisés. Le substrat est chauffé par effet Joule via une alimentation en courant électrique continu ou alternatif (signal sinusoïdal périodique simple) pour les mesures réelles.

Dans le cas de forte focalisation (ou de foyers de petites dimensions), les lasers des configurations représentées aux Figures 3, 4, 5 et 6 sont élargis à l'aide d'un extenseur de faisceau, puis focalisés sur un échantillon soumis à essai en utilisant une lentille d'objectif de microscope fixée à une tourelle. Le foyer (d_0) est déterminé par la formule suivante:

$$d_0 = \frac{2f\lambda}{D} \quad (2)$$

où f désigne la distance focale de la lentille, D le diamètre du faisceau au niveau de la pupille d'entrée, et λ la longueur d'onde. Généralement, un élargissement selon un facteur 5x est suffisant. La lumière réfléchie repart en arrière et est guidée vers un photodétecteur au silicium. Le courant photoélectrique généré dans le détecteur au silicium est converti en tension via un amplificateur à borne variable ou à transimpédance, puis mesuré à l'aide d'un multimètre numérique ou d'un amplificateur à détection synchrone.

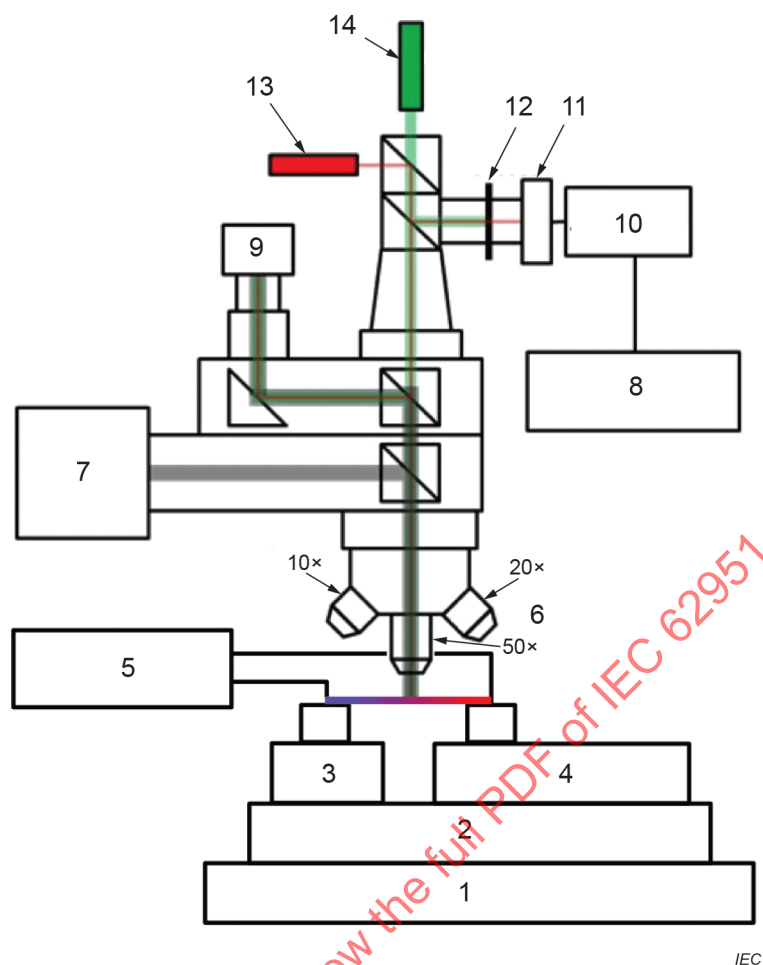


Légende

- | | | | |
|----|--------------------------------|----|-----------------------|
| 1 | Goniomètre | 2 | Axes xy motorisés |
| 3 | Axe fixe | 4 | Axe linéaire motorisé |
| 5 | Bloc refroidissant | 6 | Bloc chauffant |
| 7 | Lentille de l'objectif | 8 | Lampe halogène |
| 9 | Multimètre | 10 | CCD |
| 11 | Borne variable | 12 | Détecteur au silicium |
| 13 | Filtre passe-bas ou passe-haut | 14 | Laser 1 |
| 15 | Laser 2 | | |

NOTE Pour cet exemple, les longueurs d'onde des lasers 1 et 2, λ_1 et λ_2 , sont de 633 nm et 532 nm. D'autres longueurs d'onde peuvent cependant être utilisées.

Figure 5 – Représentation schématique de la thermométrie par thermoréflectance exploitant deux lasers de longueurs d'onde différentes pour l'étalonnage



IEC

Légende

1	Goniomètre	2	Axes xy motorisés
3	Axe fixe	4	Axe linéaire motorisé
5	Alimentation en courant continu ou alternatif	6	Lentille de l'objectif
7	Lampe halogène	8	Multimètre
9	CCD	10	Borne variable
11	Détecteur au silicium	12	Filtre passe-bas ou passe-haut
13	Laser 1	14	Laser 2

NOTE Pour cet exemple, les longueurs d'onde des lasers 1 et 2, λ_1 et λ_2 , sont de 633 nm et 532 nm. D'autres longueurs d'onde peuvent cependant être utilisées.

Figure 6 – Représentation schématique de la thermométrie par thermoréflexance exploitant deux lasers de longueurs d'onde différentes pour la mesure

Un échantillon est disposé entre deux blocs de température constante, montés respectivement sur un gabarit fixe et un axe linéaire motorisé. En général, les blocs chauffants/refroidissants sont actifs lors de l'étalonnage (facteur de réflexion en fonction de la température à une longueur d'onde donnée). La Figure 7 représente les résultats types lors de l'étalonnage avec du silicium en couche mince, où les comportements non linéaires dépendants de la longueur d'onde peuvent être observés. En considérant le rapport de réflectance, représenté à la Figure 8, il est possible d'obtenir une courbe d'étalonnage pour le matériau en couche mince. L'épaisseur de chaque échantillon en couche mince n'est pas nécessairement mesurée.

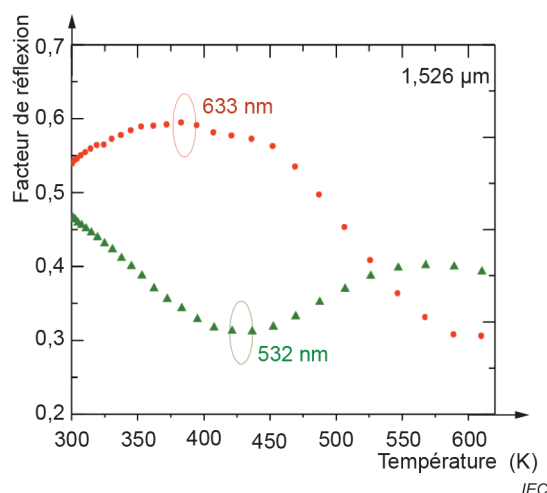


Figure 7 – Facteur de réflexion optique du silicium en couche mince (1,526 μm) à une longueur d'onde de 532 nm et 633 nm, en fonction de la température

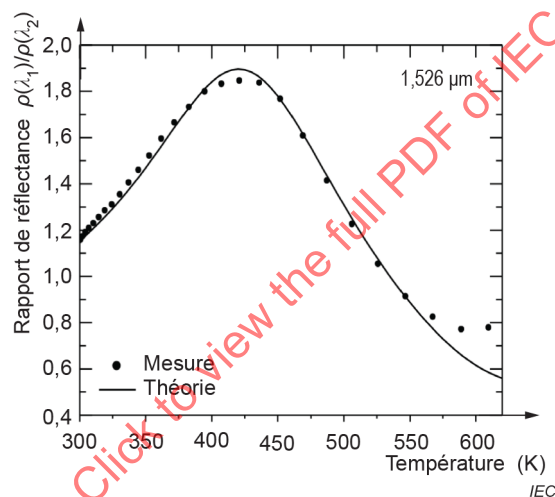


Figure 8 – Rapport de réflectance du silicium en couche mince en fonction de la température ($\lambda_1 = 633 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 532 \text{ nm}$)

Pour les mesures réelles, l'échantillon est chauffé par effet Joule en utilisant généralement une alimentation en courant électrique continu ou alternatif (signal sinusoïdal périodique simple). Pour les échantillons hautement résistifs, des méthodes de chauffage autres que le chauffage par effet Joule doivent être utilisées. Comme représenté à la Figure 9, la platine motorisée montée sur un seul axe permet de soumettre les matériaux semiconducteurs souples ou étirables à une contrainte de courbure ou d'étirement. Les platines motorisées à deux axes (xy) sont utilisées pour balayer l'échantillon afin d'obtenir une température moyenne, et le goniomètre fait tourner l'échantillon afin de maintenir la configuration en incidence normale du laser de sonde.